

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
6 mars 2003 (06.03.2003)

PCT

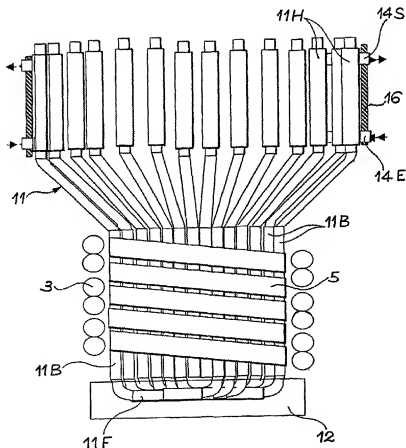
(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/019984 A1

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H05B 6/42 (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];  
31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR02/02914 (72) Inventeur; et  
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : JEGOU,  
Claude [FR/FR]; 664, chemin des Glenettes Nord,  
F-84530 Villelaure (FR).
- (22) Date de dépôt international : 21 août 2002 (21.08.2002)
- (25) Langue de dépôt : français (74) Mandataire : BEAUPIN, Jacques; c/o Brevatome, 3, rue  
du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
01/11044 23 août 2001 (23.08.2001) FR BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: COLD CRUCIBLE WITH INDUCTION HEATING AND HEAT PIPE COOLING

(54) Titre : CREUSET FROID A CHAUFFAGE PAR INDUCTION ET REFOUILLISSEMENT PAR CALODUCS.



(57) Abstract: The invention relates to a cold crucible which is cooled in an effective manner by means of a system that does not hinder access to the inside of the crucible or the installation and upkeep of the different elements. The inventive crucible comprises, in particular, sectors (11), each sector consisting of a heat pipe. The upper part (11H) of said sectors extends towards the outside while moving away from the centre of the crucible. Each upper part (11H) is in contact with a coolant circulation system (14E, 14S). Said heat pipes can be used to cool a direct coil crucible. In this way, several crucibles can be stacked on top of one another with only the lower crucible having a base (12). The inventive crucible can be used for the heating and fusion of glass, refractory oxides and various metals.

(57) Abrégé : Le creuset froid est refroidi de façon efficace par un système n'entravant pas l'accès à l'intérieur du creuset, ni l'installation et l'entretien de ces différents éléments. Il comprend en particulier des secteurs (11) qui sont constitués chacun d'un caloduc dont la partie haute (11H)

[Suite sur la page suivante]



DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

s'étend vers l'extérieur, en s'écartant du centre du creuset. Chaque partie haute (11H) est en contact avec un système de circulation de fluide de refroidissement (14E, 14S). Ces mêmes caloducs peuvent être utilisés pour le refroidissement d'un creuset à spire directe. Plusieurs creusets peuvent ainsi être superposés, seul le creuset inférieur possédant alors un fond (12). Application pour le chauffage et la fusion des verres, oxydes réfractaires et métaux divers.

CREUSET FROID A CHAUFFAGE PAR INDUCTION  
ET REFROIDISSEMENT PAR CALODUCS

DESCRIPTION

5

Domaine de l'invention

L'invention ressortit du domaine de la fusion de certains matériaux à haute température de fusion, tels que le verre, les oxydes réfractaires, les oxydes métalliques ainsi que certains métaux, au moyen d'un chauffage par induction électromagnétique. Elle concerne, en particulier, les creusets froids à secteurs refroidis et les creusets à spire directe.

15

Art antérieur et problème posé

Parmi les procédés de fonte et de coulage des produits comme le verre, les oxydes réfractaires, les métaux ou même pour faire léviter ces produits, il est courant d'utiliser des creusets froids refroidis à l'eau, le chauffage s'effectuant par induction électromagnétique appliquée au matériau contenu dans le creuset. Deux exemples de creuset utilisés sont représentés par les figures 1, 2 et 3.

La figure 1 représente un premier type de creuset sectorisé, utilisé à ces mêmes fins. Il est constitué principalement de secteurs 1, d'un fond 2, d'un inducteur 3 à plusieurs spires et d'un circuit de refroidissement 4. Les secteurs 1 sont placés verticalement, les uns contre les autres, pour

constituer l'enceinte du creuset. Le fond 2 complète cette enceinte. On précise que ce fond 2 peut être escamotable ou comporter un ou plusieurs orifices pour l'évacuation des matériaux coulés dans le creuset. Les  
5 secteurs 1 sont maintenus les uns contre les autres, grâce à une fixation au moyen d'un banderolage 5. Le circuit de refroidissement 4 est constitué par une arrivée 4E et un départ 4S de liquide de refroidissement, qui est, dans la plupart des cas de  
10 l'eau.

Le creuset ainsi constitué est de forme usuellement cylindrique, sans que celle-ci soit impérative. Le courant alternatif de forte intensité est de l'ordre de quelques milliers d'ampères, à une  
15 fréquence comprise entre quelques dizaines de hertz et plusieurs mégahertz. La tension peut atteindre plusieurs milliers de volts. Le fond du creuset 2 peut être ou non refroidi.

La figure 2 montre en coupe un secteur 1, ainsi que la circulation de l'eau dans une canalisation 6 et par une arrivée 4E et une sortie 4S. On constate que l'eau circule sur toute la hauteur du secteur 1.

La figure 3 montre une autre sorte d'inducteur 6, dit à spire directe, constitué d'une  
25 spire unique et cylindrique constituant l'enceinte contenant directement le produit à chauffer. Le circuit de refroidissement 7 est constitué ici par une spirale entourant l'inducteur 6. Pour fermer le creuset et pour éviter les inconvénients liés aux tensions électriques  
30 régnant entre les deux bornes 6A et 6B de l'inducteur 6, un doigt froid 8 est placé entre celles-ci.

Les principaux inconvénients inhérents à ces deux types de creusets froids sont les suivants :

- l'utilisation d'un circuit de refroidissement dans lequel circule en grande quantité un fluide présente des risques d'explosion de vapeur en cas de fuite d'un secteur, chacun de ceux-ci étant alimenté de façon continue et à fort débit ;
- le circuit de refroidissement 4, 7, est relativement complexe.

Enfin, on éprouve de grandes difficultés pour la maintenance en cas d'avarie d'un des éléments de cette installation.

#### Résumé de l'invention

15

A cet effet, l'objet principal de l'invention est un creuset froid à chauffage par induction électromagnétique, destiné à la fusion du verre, d'oxydes réfractaire et de métaux. Il comprend principalement :

- un fond ;
- au moins un inducteur entourant l'enceinte ;
- des secteurs juxtaposés ; et
- des moyens de refroidissement.

25

Selon la caractéristique principale de l'invention, les secteurs sont constitués chacun d'un caloduc à parois isolées électriquement constituant le creuset ainsi que leurs propres moyens de refroidissement.

30

La technologie « caloduc », connue de l'homme du métier, est exposée notamment dans les « Techniques de l'Ingénieur », Article B9545, vol. BE6.

Dans une réalisation préférentielle, chaque caloduc a, de préférence, une partie haute dépassant l'enceinte du creuset constituée par les parties basses de chaque secteur, et déportée vers l'extérieur. Ceci permet l'évacuation de la chaleur par une circulation forcée de fluide contre la partie haute des caloducs, tout en permettant l'accès par la partie supérieure du creuset.

Les caloducs de chaque secteur peuvent se prolonger sous l'enceinte pour constituer le fond. Dans une autre réalisation, le fond peut également être constitué d'autres caloducs différents de ceux constituant l'enceinte du creuset.

Dans le but de fixer les parties hautes des caloducs constituant chaque secteur, on peut utiliser une virole de fixation électriquement isolante entourant l'ensemble des parties hautes.

Dans le but de bien solidariser les caloducs, notamment dans leur partie basse, ceux-ci sont entourés d'un banderolage.

Ils peuvent également être fixés entre eux au moyen de colliers autobloquants.

Selon l'invention, on prévoit également d'utiliser un inducteur supplémentaire placé sous le fond du creuset.

Enfin, on envisage également d'utiliser plusieurs étages de caloducs superposés, constituant ainsi une enceinte longue et haute, l'inducteur pouvant

être constitué par la superposition des inducteurs respectifs de chaque étage.

Dans une deuxième réalisation préférentielle de l'invention, l'inducteur est une spire unique et directe constituée d'une virole refroidie par des caloducs.

Dans ces deux réalisations, le doigt froid (ou les doigts) peut être constitué d'un (ou plusieurs) caloduc(s).

De même, la virole de la spire directe peut être constituée par l'assemblage continu de caloducs non électriquement isolés.

Enfin, la virole épaisse, constitutive de la spire directe, peut être usinée pour la réalisation in situ des caloducs.

#### Liste des figures

L'invention et ses différentes caractéristiques techniques seront mieux comprises à la lecture de la description suivante de plusieurs réalisations de l'invention ; elle est accompagnée de plusieurs figures représentant respectivement :

- figure 1, déjà décrite, un creuset froid selon l'art antérieur ;

- figure 2, déjà décrite, en coupe, un secteur du creuset froid décrit à la figure 1 ;

- figure 3, déjà décrite, une deuxième réalisation de l'inducteur d'un creuset selon l'art antérieur ;

- figure 4, un premier creuset selon l'invention ;
- figure 5, un collier autobloquant pouvant être utilisé sur le creuset selon l'invention ;
- 5       - figure 6, un détail du collier autobloquant de la figure 5 ;
- figure 7, une vue du dessous du creuset décrit à la figure 4 ;
- figure 8, en vue de dessous, une autre
- 10 réalisation du fond du creuset ;
- figure 9, en vue frontale, une deuxième réalisation d'un creuset selon l'invention ;
- figure 10A et 10B, d'autres réalisations possibles du fond du creuset de la figure 9 ;
- 15       - figure 11, une troisième réalisation du creuset selon l'invention ;
- figure 12, un détail d'une variante de la troisième réalisation décrite à la figure 11 ;
- figure 13, une autre réalisation possible
- 20 du creuset selon l'invention ;
- figure 14, un exemple de fixation des creusets les uns sur les autres ; et
- figure 15, une réalisation du creuset à spire directe refroidie par caloducs et à doigt froid
- 25 constitué d'un ou plusieurs caloducs.

Description détaillée de plusieurs réalisations de l'invention

- 30               Une première réalisation possible du creuset selon l'invention est représentée à la figure 4. Les



matériaux y sont toujours fondus dans une partie analogue à celle du creuset décrit à la figure 1 et formée ici de secteurs 11 dont la partie 11B s'apparente à la pluralité de secteurs 1 du creuset de la figure 1.

La différence majeure réside dans le fait que ces secteurs 11 ont une partie haute 11H, prolongeant par le haut les parties basses 11B et s'écartant par rapport au centre du creuset. De la sorte, leur partie haute 11H ne gêne pas la mise en place des éléments complémentaires à l'installation, tels que les systèmes de remplissage, d'isolation thermique et l'inducteur principal 3. En effet, celui-ci est analogue à celui utilisé sur le creuset de l'art antérieur, représenté à la figure 1.

Chaque secteur 11 est constitué d'un caloduc, de préférence de section cylindrique, sans que cette forme soit impérative. Elle pourrait être parallélépipédique. La paroi du caloduc doit être en cuivre ou en acier inoxydable, ou tout autre produit ou métal susceptible de convenir à l'application envisagée. Le fluide caloporteur contenu dans le caloduc constituant un secteur 11 peut être de l'eau ou tout autre fluide adéquat, tel que le sodium, le germanium, l'argent. La partie haute 11H de chaque secteur 11, par où s'effectue l'évacuation de la chaleur captée dans le creuset, est entourée d'un dispositif de circulation forcée d'un fluide, symbolisé par une entrée 14E et une sortie 14S, qui côtoie les parties hautes 11H des secteurs 11. On profite d'ailleurs, sans que cela soit une unique solution, que

le dispositif de circulation forcée soit présent autour des parties hautes 11H pour assurer la fixation de celles-ci au moyen d'une virole 16 perforée, isolante électriquement et fabriquée en matériau composite. La paroi de chaque secteur est rendue électriquement isolante dans sa partie basse 11B où les secteurs 11 adjacents sont en contact les uns avec les autres par un revêtement adapté. On pense, par exemple, à un revêtement d'alumine projeté par plasma ou par procédé PVD. Concernant la fixation des secteurs 11 dans la partie basse 11B, on utilise, dans cette réalisation, un même banderolage que celui utilisé dans le creuset, précédemment décrit à la figure 1. En référence à la figure 5, ce banderolage peut être remplacé par un collier autobloquant 15, réalisé en matériau composite, isolant électriquement. La fermeture d'un tel collier autobloquant 15 est illustrée par la figure 6 où les deux extrémités 15A et 15B s'encliquètent l'une dans l'autre, au moyen de crochets 15C.

Le creuset, comme le montre la figure 4, possède un fond 12 qui est, dans ce cas, refroidi par le prolongement 11F des secteurs 11, en dessous de leurs parties basses 11B.

On note que le fond 2 pourrait ne pas être refroidi et être ouvert en son milieu pour permettre le passage de pièces de grandes longueurs ou pour évacuer le produit resolidifié.

La figure 7 montre, en vue de dessous, le même creuset de la figure 4, le fond 12 étant enlevé. On y distingue donc les extrémités basses 11B des secteurs 11 qui s'étendent à partir de la périphérie

vers le centre du creuset. Dans le but de couvrir toute la surface du fond du creuset, ces différentes extrémités basses 11B des secteurs 11 ont des longueurs différentes, de manière à s'enchevêtrer les unes dans les autres comme un parquet à bâtons rompus et d'effectuer le recouvrement complet du fond. D'autre part, on distingue également les parties hautes 11H des secteurs 11 avec les entrées 14E et sorties 14S de circulation de liquide de refroidissement.

La figure 8 montre une autre configuration des extrémités basses 21B des secteurs 21 pour constituer le refroidissement du fond du creuset. Dans celui-ci, on s'aperçoit que chaque extrémité basse 21B s'oriente vers le centre du creuset, ces différentes extrémités basses 21B ayant des longueurs différentes pour pouvoir, non pas s'enchevêtrer, mais recouvrir, grosso modo, le fond du creuset.

Comme le montre la figure 9, le fond 22 peut être également refroidi par des caloducs 24, indépendants des secteurs 21 en pénétrant dans le fond 22. Cet aménagement est prévu, entre autre, lorsqu'un inducteur supplémentaire 29 est placé sous le fond 22 pour assurer un chauffage complémentaire du creuset. Les caloducs indépendants 24 ont une partie haute 24H analogue à la partie haute 14H des secteurs représentés sur le creuset de la figure 4, c'est-à-dire s'écartant du centre du creuset, au-delà de l'inducteur 23.

Les figures 10A et 10B montrent les caloducs indépendants qui peuvent être utilisés sous le fond du creuset. Les caloducs indépendants 21A de la figure 10A s'étendent de part et d'autre d'un plan de symétrie du

creuset qui a été représenté cylindrique. Dans le cas de la figure 10B, les caloducs 21B s'étendent chacun sur toute la surface du fond et ne s'étendent que d'un côté du creuset.

5           La figure 11 montre que la partie inférieure du creuset peut être constituée par des caloducs indépendants 32, positionnés de façon un peu inclinée de manière à venir couvrir le fond du creuset. Ils complètent ainsi les secteurs 31 placés entre  
10 l'inducteur 33 et le creuset lui-même, la chaleur étant évacuée grâce au circuit de refroidissement dont l'entrée a été référencée 34E et la sortie 34S. Cette réalisation convient particulièrement bien aux creusets froids, sectorisés de forme parallélépipédique.

15           La figure 12 montre que les caloducs indépendants 32 de la figure 10 peuvent être remplacés par des caloducs indépendants inclinés 42, le circuit de refroidissement étant adapté à cette géométrie, les entrées 44E et sorties 44S ne se trouvant plus  
20 horizontales.

          La figure 13 montre une autre variante du creuset selon l'invention. En effet, elle montre la superposition de plusieurs creusets pour n'en former qu'un seul d'une hauteur importante, donc d'une  
25 capacité accrue. Compte tenu de la forme écartée des parties hautes 51H, des secteurs 51, l'emboîtement des différents creusets les uns au-dessus des autres est possible. On note que le creuset inférieur est équipé de caloducs indépendants 52, analogues aux caloducs  
30 indépendants 32 de la figure 11. Les différents inducteurs successifs 53 sont équivalents à un

inducteur beaucoup plus long qui serait constitué en une seule partie.

Comme le montre la figure 14, la fixation de ces différents creusets les uns sur les autres peut être réalisée au moyen de picots brasés 57 sur chaque extrémité inférieure d'une partie centrale de secteur 51 et s'engageant dans une pièce de fixation 56 fixée à l'extrémité inférieure de la partie basse 51B du secteur 51 du creuset qui lui est juste supérieur.

La conception de ce creuset s'applique également à un creuset utilisant un inducteur constitué d'une spire unique, comme celui de la figure 3.

La figure 15 montre la réalisation d'un creuset à spire directe dont la virole 58 est refroidie à l'aide des caloducs 59 qui lui sont fixés, un ou plusieurs caloduc(s) 60 constituant le doigt froid. Une variante de réalisation consiste à utiliser une virole épaisse dans la réalisation de la spire directe, un usinage adéquat permettant la réalisation in situ des caloducs ou simplement leur insertion.

REVENDEICATIONS

1. Creuset froid à chauffage par induction électromagnétique, destiné à la fusion du verre, d'oxydes réfractaires et de métaux, comprenant principalement :

- un fond (2, 22) ;
- au moins un inducteur (3, 33, 53) ; et
- des secteurs (11, 21, 31, 51) juxtaposés et constituant une enceinte du creuset ;
- des moyens de refroidissement, caractérisé en ce que les secteurs (11, 21, 31, 51) sont constitués de caloducs à parois isolées électriquement constituant eux-mêmes les moyens de refroidissement.

2. Creuset froid selon la revendication 1, caractérisé en ce que les caloducs ont une partie haute (11H, 31H, 51H) dépassant de l'enceinte du creuset qui est constituée par les parties basses (11B, 31B 51B) de chaque secteur et étant déportée pour permettre l'évacuation de la chaleur par une circulation forcée de fluide contre la partie haute (11H, 31H, 51H) des secteurs.

3. Creuset froid selon la revendication 1, caractérisé en ce que les secteurs (11F) se prolongent sous l'enceinte du creuset pour constituer le fond ou réfrigérer le fond (12).

4. Creuset froid selon la revendication 1, caractérisé en ce que le fond du creuset constitué de caloducs indépendants (24), indépendants de ceux (11, 31, 51) constituant l'enceinte du creuset.

5. Creuset froid selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend une virole (16) de fixation des parties hautes (11H) des secteurs (11, 21), électriquement isolante et entourant l'ensemble de ces parties hautes (11H).

6. Creuset froid selon la revendication 1, caractérisé en ce que les secteurs (11, 21, 51) sont solidarisés par un banderolage (5) dans la partie basse (11B) des secteurs.

7. Creuset froid selon la revendication 1, caractérisé en ce que les secteurs sont solidarisés par des colliers autobloquants (15).

8. Creuset froid selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un inducteur complémentaire (29) pour chauffer le creuset en étant placé en dessous du fond (22).

9. Creuset froid selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend plusieurs étages de secteurs (51) superposés, constituant ainsi une enceinte de creuset longue et haute et dont l'inducteur est constitué par les inducteurs (53) de chacun des étages ainsi superposés.

10. Creuset froid selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'inducteur est une spire unique et directe constituée d'une virole (58) refroidie par des caloducs (59).

11. Creuset froid selon la revendication 1 ou 10, caractérisé en ce que le doigt froid (ou les doigts) est constitué d'un (ou plusieurs) caloduc(s) (60).

12. Creuset froid selon la revendication 1 ou 10, caractérisé en ce que la virole (58) de la spire directe est constituée par l'assemblage continu de caloducs non électriquement isolés.

5 13. Creuset froid selon la revendication 1 ou 10, caractérisé en ce que la virole épaisse, constitutive de la spire directe, est usinée pour la réalisation in situ des caloducs.



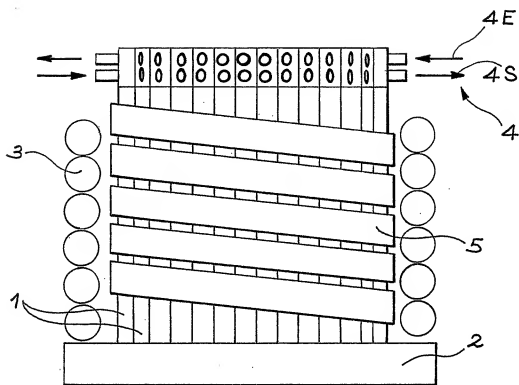


FIG. 1

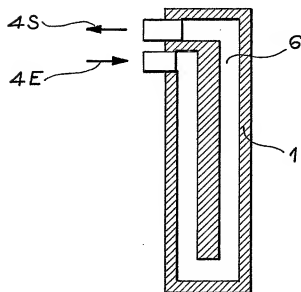


FIG. 2

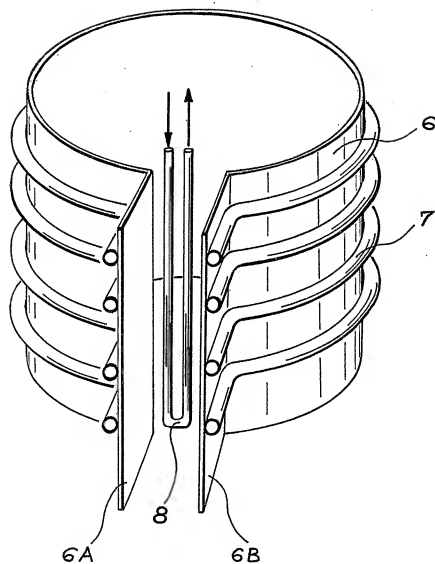


FIG. 3

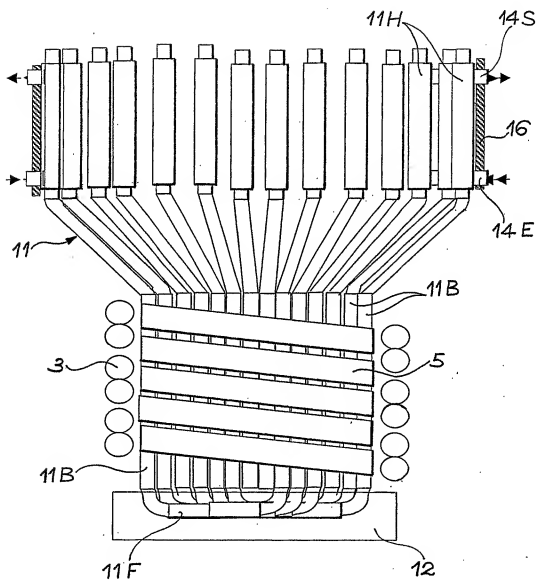


FIG. 4

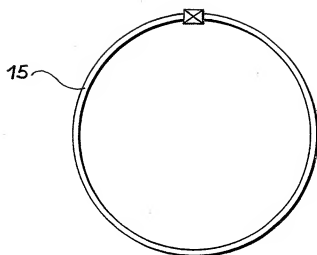


FIG. 5

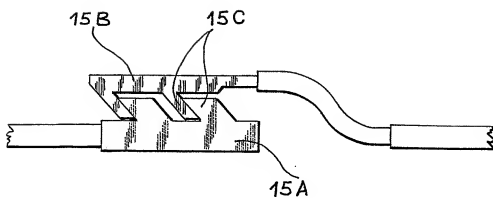


FIG. 6

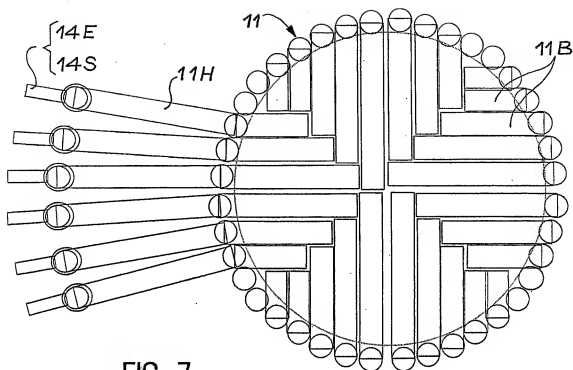


FIG. 7

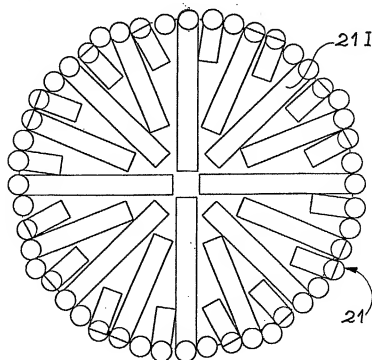


FIG. 8

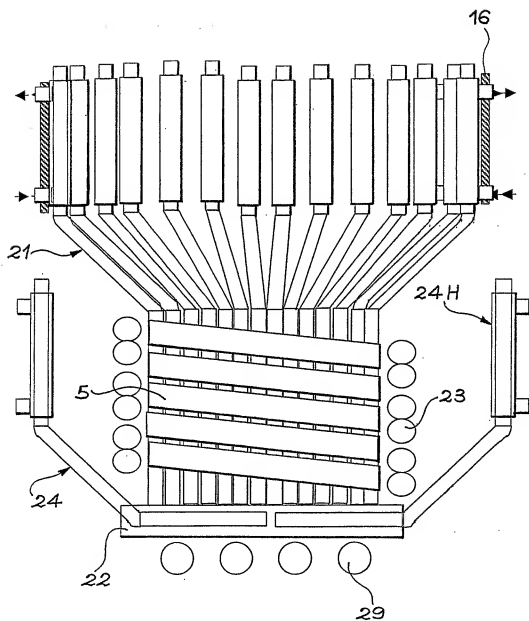


FIG. 9

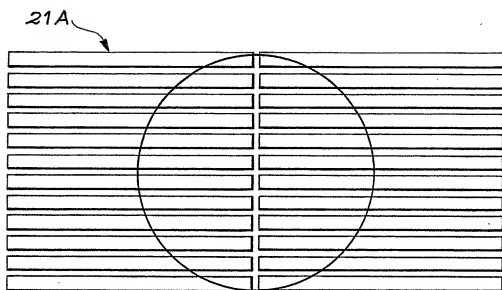


FIG. 10 A

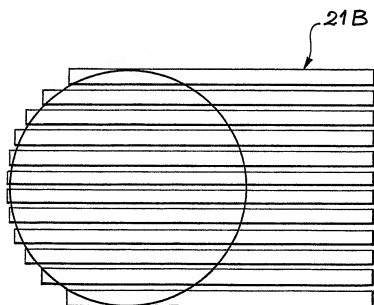


FIG. 10 B

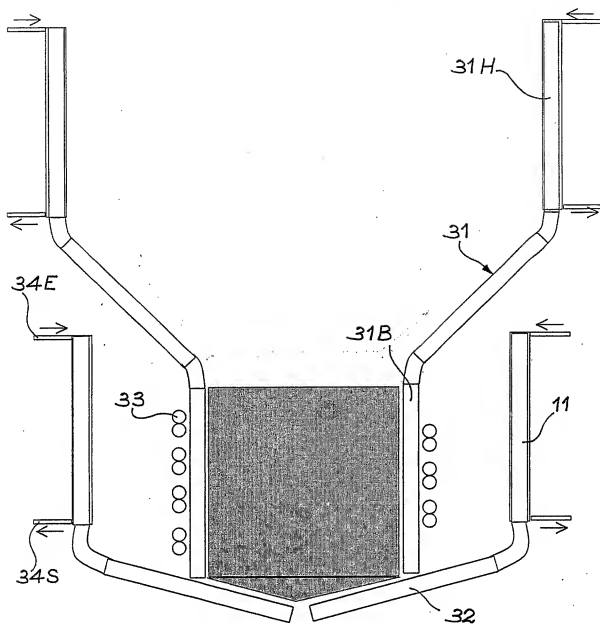
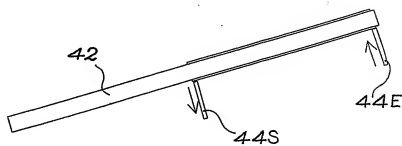


FIG. 11

FIG. 12





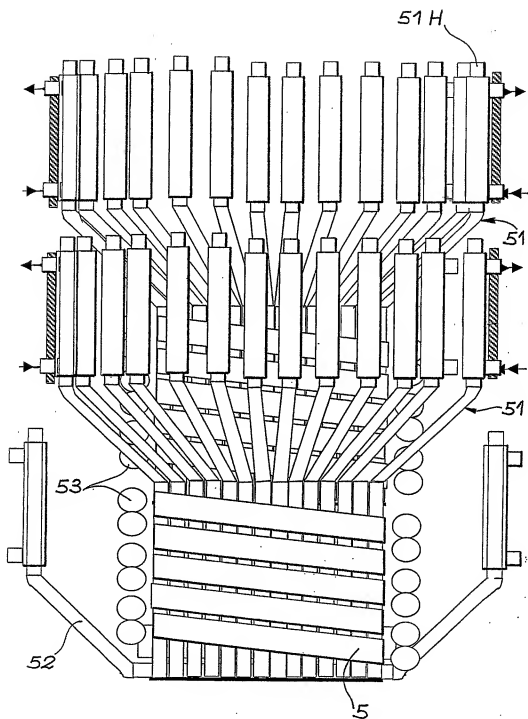


FIG. 13



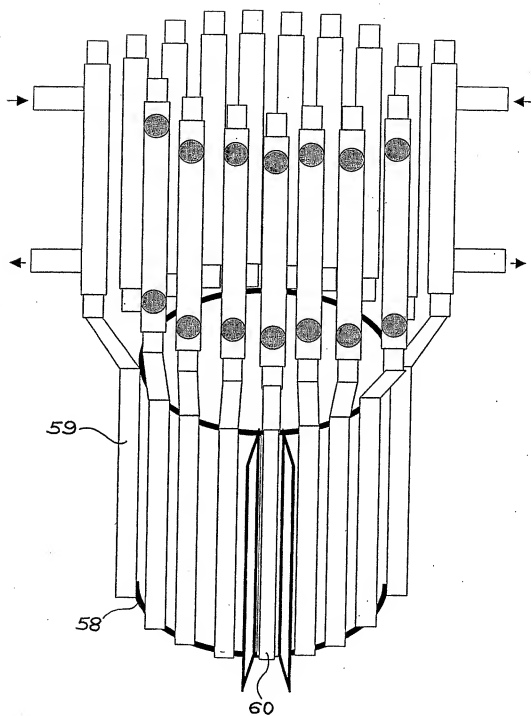


FIG. 15